Le cervelet :

Introduction :

Le cervelet est une structure nerveuse *qui ne constitue que 10% du volume de l'encéphale mais qui contient la moitié de ses les neurones*.

Il est situé à l'arrière du pont et du bulbe (dont il est séparé par le 4ème ventricule). Il est lié au tronc cérébral par 3 paires de pédoncules cérébelleux (supérieur, moyen et inférieur, appelés également pieds) qui renferment des fibres afférentes et efférentes.

Le pédoncule supérieur est principalement efférent, alors que les deux autres sont principalement afférents.

Il arrive au cervelet plusieurs informations qui sont intégrées. Les efférences sont envoyées vers le cortex cérébral, les noyaux du tronc cérébral et la moelle épinière (motoneurone α)

Rq : le motoneurone α est dit « voie finale commune » responsable des réponses musculaires, ou plus connue sous le nom de « voie finale commune de Sherrington »

Rôles :

- Contrôle et régulation de la motricité : tonus, marche, posture, la statique et l'équilibration (position des yeux par rapport à la tête et la tête par rapport au corps) ...etc.
- Coordination et programmation des mouvements volontaires, et le contrôle de leur précision, rapidité et harmonie
- Comparaison, mémorisation et apprentissage des mouvements : Au début les actions sont lentes et réfléchies, mais avec la répétition, elles deviennent rapides et automatiques. On dit que l'acte conscient devient inconscient grâce au cervelet

Fonctionnement :

Le cervelet possède une copie parfaite du mouvement.

Lorsqu'on exécute un mouvement défectueux on dit qu'il y a discordance entre la copie parfaite et la manière d'exécution.

Cette discordance va envoyer une copie de l'action défectueuse au cervelet qui va la comparer à la copie parfaite. C'est ce qu'on appelle l'apprentissage.

De cette manière, la répétition et l'entrainement conduisent à l'automatisme des actions et augmentent ainsi les performances

Le cervelet mémorise de façon définitive, cela veut dire qu'une performance est reproductible même après des années sans pratique.

Organisation du cervelet :

I. Aspect macroscopique :

Le cervelet a la forme d'un chou-fleur ou d'un papillon. Il est composé d'un manteau gris périphérique, le cortex cérébelleux (ou écorce), d'une matière blanche interne ainsi que 3 paires de noyaux profonds :

- Le noyau fastigial (NF) : Aussi appelé noyau du toit, il est situé dans la région médiane
- Le noyau interposé (NI) : Situé dans la région intermédiaire et formé du noyau emboliforme et du noyau globuleux
- Le noyau dentelé (ND) : Aussi appelé noyau latéral ou olive cérébelleuse, situé dans la région latérale

Le cervelet est divisé en deux hémisphères symétriques (droit et gauche) reliés par une structure médiane, en forme de ver, le Vermis.

A noter aussi que la surface présente de nombreuses circonvolutions formant les lamelles du cervelet.

Systématisation du cervelet = découpage :

La surface du cervelet est divisée en lobes et lobules par des fissures et des scissures.

Selon le diagramme de Larsell on distingue 10 lobes. Le plus important étant le 10ème, ou lobe flocculo-nodulaire (LFN)

On peut diviser et classer le cervelet de 3 manières différentes :

1- Subdivision transversale : On distingue :

- Le lobe antérieur.
- Le lobe postérieur : séparé du lobe antérieur par la fissure primaire
- Le lobe flocculo-nodulaire : séparé du lobe postérieur par la fissure postéro-latérale

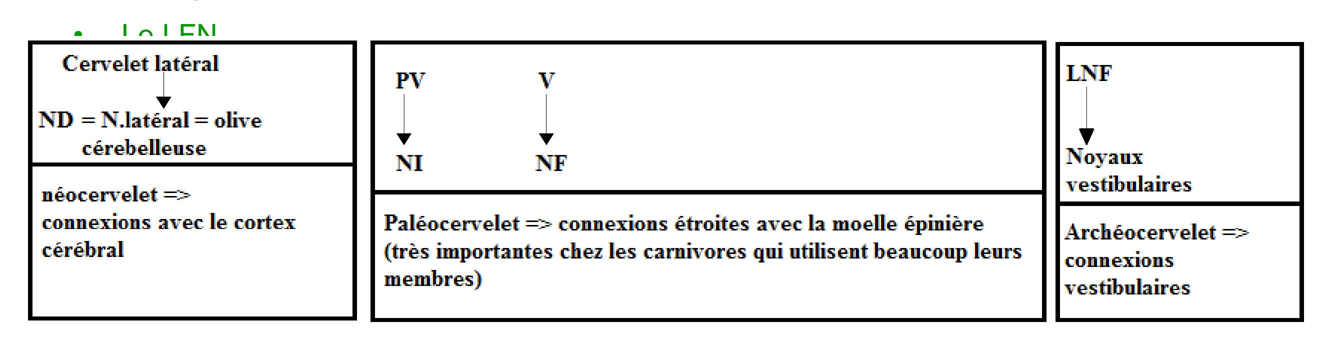
2- Subdivision phylogénétique (embryologique) : On distingue :

- Archéocervelet : Correspond au LFN. Il représente la partie la plus ancienne.
- Paléocervelet : Correspond au lobe antérieur.
- Néocervelet : Correspond au lobe postérieur.

3- Subdivision longitudinale :

Déterminée par la projection des axones du cervelet vers les noyaux cérébelleux. On distingue :

- Le vermis
- La région para-vermienne (PV)
- La région latérale
- Le LFN



II. Connexions du cervelet :

Les boucles cérébelleuses :

A. Boucle vestibulaire : concerne l'archéocervelet

- Afférences : Vestibulaires, visuelles
- Connexions intra-cérébelleuses : LFN
- Efférences : Noyaux vestibulaires

Rôle : Régulation statique et d'équilibration, réflexes vestibulaires, mouvements de la tête, des yeux et du tronc

B. Boucle spinale : concerne le paléocervelet

1- Région vermienne :

- Afférences : Auditives et visuelles + Région du cou et du tronc
- Connexion intra-cérébelleuse : Noyau fastigial
- Efférences : Noyaux vestibulaires et la réticulée

Rôle : Contrôle les membres supérieurs

2- Région para-vermienne

- Afférences : Influx des membres
- Connexion intra-cérébelleuse : Noyau interposé
- Efférences : Thalamus et Noyau rouge

Rôle : Contrôle des membres inférieurs

C. Boucle cérébrale : il concerne le néocervelet

- Afférences : Tout le cortex cérébral
- Connexion intra-cérébelleuse : Noyau dentelé
- Efférences : Noyaux thalamiques => cortex moteur et pré-moteur

Rôle : planification et exécution des mouvements. *il aurait aussi certaines fonctions cognitives, ainsi ils seraient appliquées dans la mémoire de travail, Certaines données permettent de le relier à la schizophrénie et à l'autisme*

Détails des différentes voies :

1- Connexions afférentes :

a- Les afférences spinales :

Les informations proviennent des muscles, des articulations et de la peau. Elles sont conduites par plusieurs voies :

- Voie directe :

Fx spino-cérébelleux dorsal et ventral : pour **les membres inférieurs**

Fx cunéo-cérébelleux et rostral pour les **membres supérieurs**

- Voie indirecte : Les faisceaux prennent relais au niveau du tronc cérébral (olive bulbaire, noyaux vestibulaires, les noyaux réticulés et le noyau rouge)

b- Les afférences vestibulaires :

Proviennent des récepteurs vestibulaires (maculaires et ampullaires) ou des noyaux vestibulaires

c- Les afférences auditives et visuelles :

Elles passent par les tubercules quadrijumeaux : l'antérieur est pour la vision et le postérieur pour l'audition)

d- Les afférences cérébrales :

Elles proviennent de l'ensemble du cortex cérébral.

Elles passent d'abord par un relais correspondant aux noyaux du pont controlatéraux pour former le faisceau cortico-ponto-cérébelleux + d'autres noyaux (olive bulbaire inférieure et les noyaux réticulés)

Elles se terminent sur le cortex cérébelleux

2- Connexions intra-cérébelleuses :

Les axones des cellules de Purkinje représentent la totalité des faisceaux efférents, dont une grande majorité se termine sur les noyaux cérébelleux

3- Connexions efférentes :

Chaque hémi-cervelet contrôle la moitié ipsilatérale du corps, *car le pédoncule supérieur repasse encore une fois en controlatéral*. Le cervelet Il influence indirectement les motoneurones grâces aux voies rubro-réticulo-vestibulo-spinales et pyramidales.

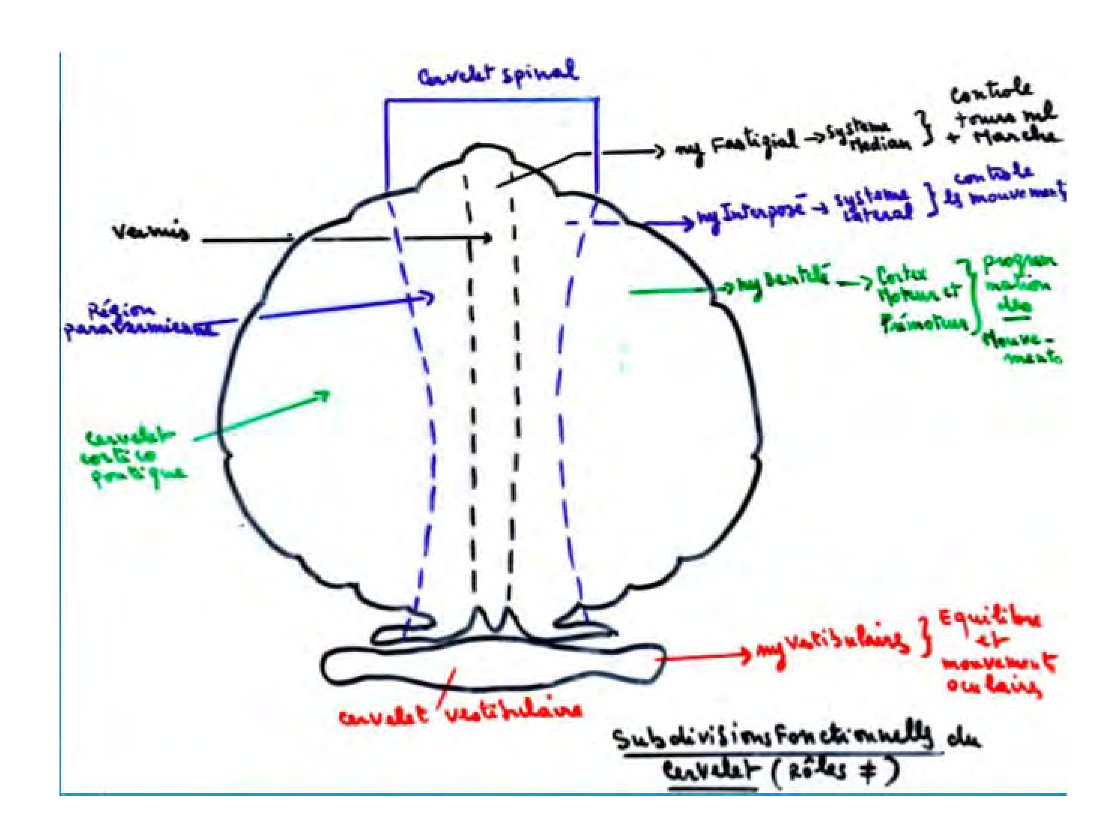
a- Le noyau fastigial projette des **fx descendants** vers les noyaux vestibulaires et réticulés => système ventro-médian (fx vestibulo-spinal + réticulo-spinal)

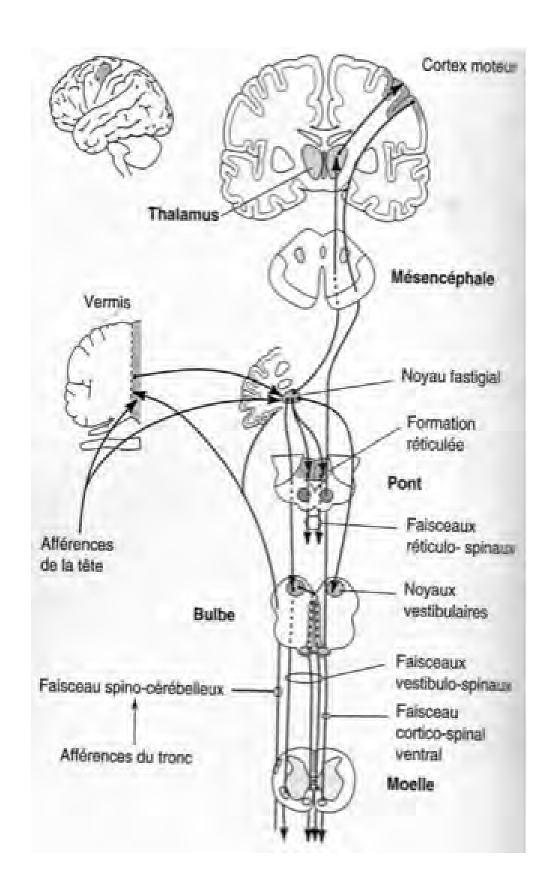
b- Le noyau interposé projette des **fx ascendants** (fx rubro-spinal) sur le noyau rouge controlatéral => système dorso-latéral + un fx cortico-spinal

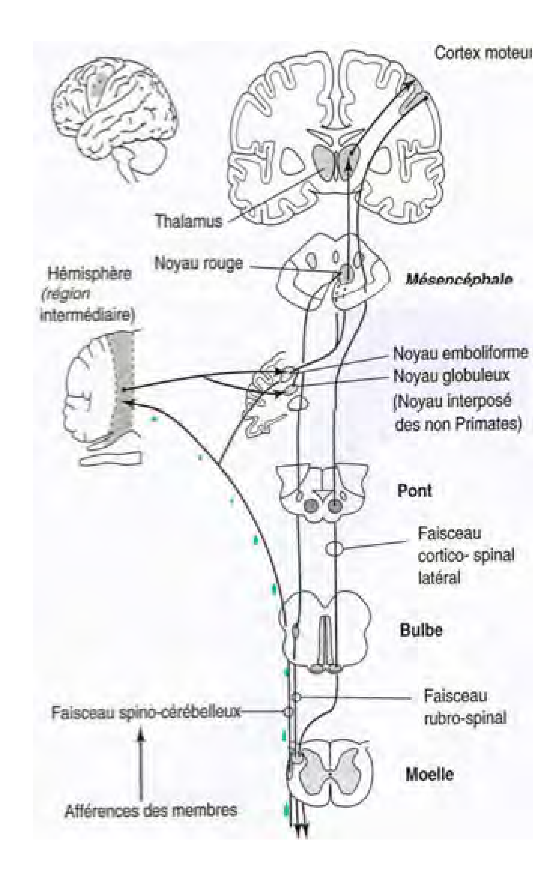
c- Le noyau dentelé projette des **fx ascendants** (fx ventral-latéral et ventral-antérieur) sur les noyaux thalamiques controlatéraux puis sur le cortex moteur et pré-moteur.

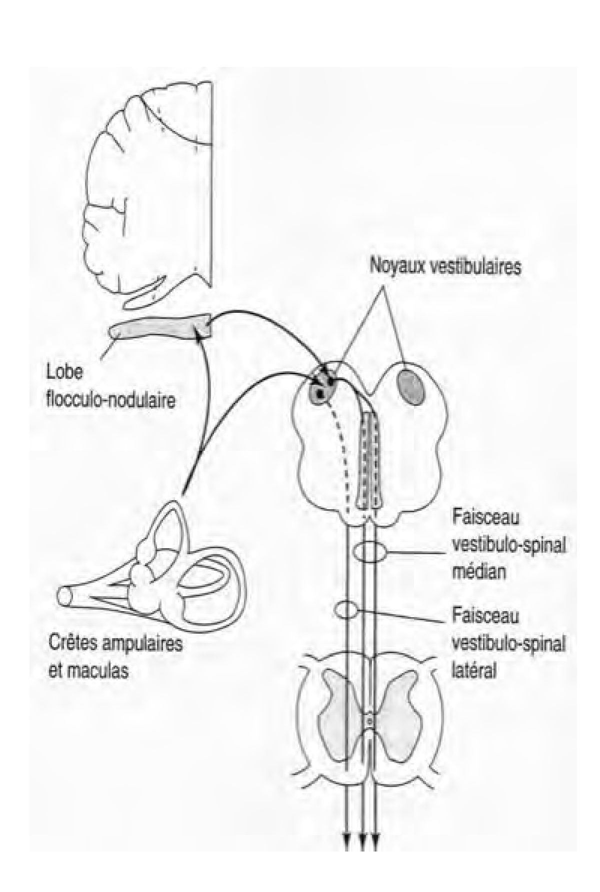
Il faut savoir que chaque hémisphère du cortex moteur régit les volontaires des muscles du coté opposé. Car la plupart des fibres du cortex moteur bifurquent du coté controlatéral et poursuivent leur trajet vers la moelle épinière. Le point de croisement est appelé décussation des pyramides.

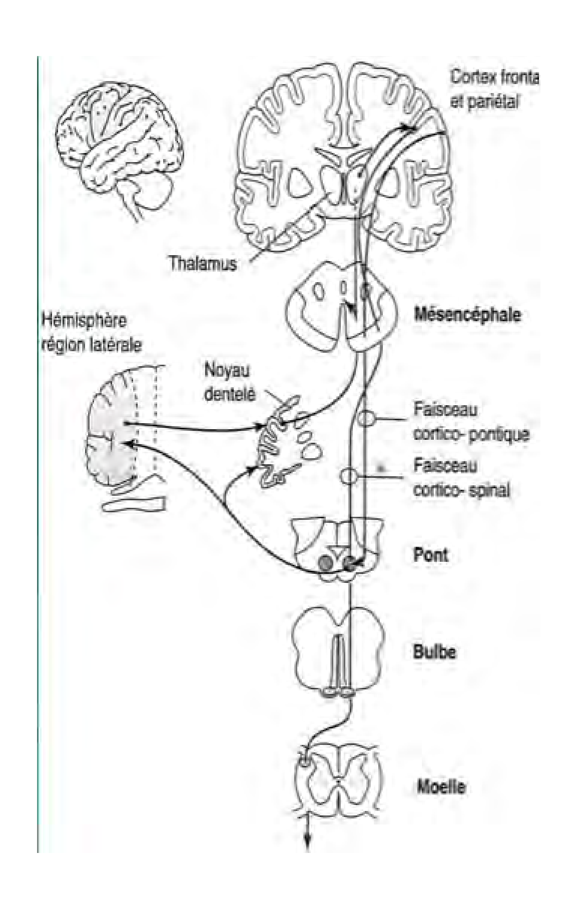
Hémiplégie : paralysie complète ou non frappant une moitié du corps. Elle est causée par une atteinte de l'hémisphère controlatéral.

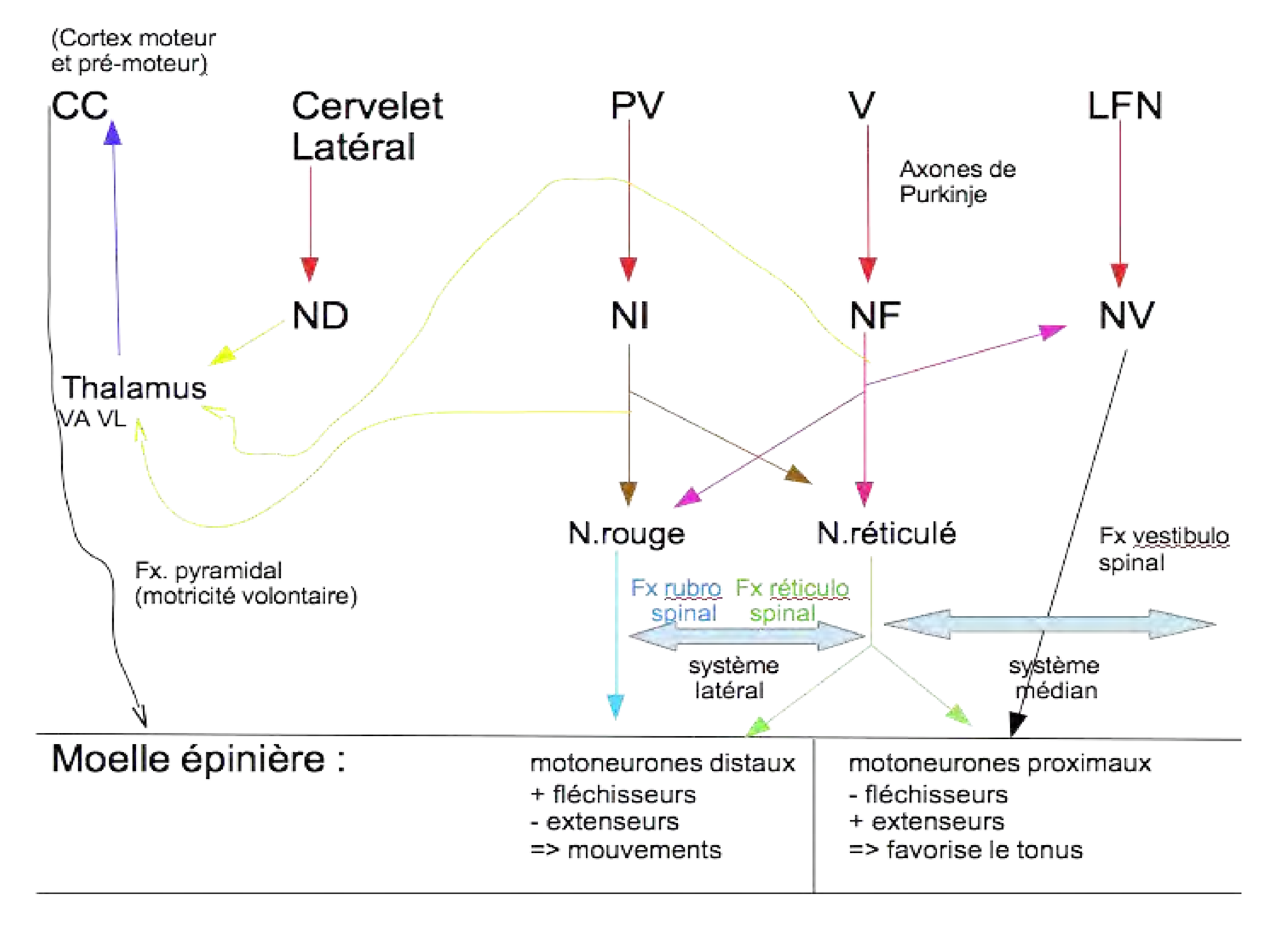



Cortex moteur
Thalamus
Mésencéphale
Vermis
Noyau fastigial
Formation réticulée
Pont
Faisceaux réticulo- spinaux
Afférences de la tête
Noyaux vestibulaires
Bulbe
Faisceaux vestibulo-spinaux
Faisceau spino-cérébelleux
Faisceau cortico-spinal ventral
Afférences du tronc
Moelle


Cortex moteur
Thalamus
Noyau rouge
Hémisphère (région intermédiaire)
Mésencéphale
Noyau emboliforme
Noyau globuleux
(Noyau interposé des non Primates)
Pont
Faisceau cortico- spinal latéral
Bulbe
Faisceau spino-cérébelleux
Faisceau rubro-spinal
Moelle
Afférences des membres


Noyaux vestibulaires
Lobe flocculo-nodulaire
Faisceau vestibulo-spinal médian
Faisceau vestibulo-spinal latéral
Crêtes ampulaires et maculas


Cortex frontal et pariétal
Thalamus
Mésencéphale
Hémisphère région latérale
Noyau dentelé
Faisceau cortico- pontique
Faisceau cortico- spinal
Pont
Bulbe
Moelle



Connexions efférentes du cervelet

Etudes expérimentales sur animaux :

Chez les primates, la cérébellectomie n'entraîne pas de paralysie ni de trouble de la sensibilité (somesthésie préservée). En revanche, elle touche le tonus postural et la motricité cinétique

Données anatomo-cliniques humaines :

La lésion cérébelleuse provoque divers troubles et symptômes, on peut citer essentiellement :

1- Hypotonie : Une diminution de la résistance au déplacement passif d'un membre. On peut diagnostiquer cela grâce au réflexe du pendule, lorsqu'on expérimente le réflexe rotulien sur une personne normale, après avoir distendue la jambe, celle-ci revient directement à son état d'origine. Par-contre, chez une personne avec une lésion cérébelleuse, on observe un mouvement de va et vient de la jambe (comme un pendule) pouvant aller jusqu'à 8 fois avant de revenir à l'état de repos.

2- Astasie et Abasie : respectivement, incapacité de se tenir debout et incapacité de marcher.
3- Ataxie
4- Tremblement terminal : à la fin d'un mouvement, ceci suggère que le cervelet serait responsable de la coordination de l'action entre les muscles agonistes et antagonistes

Un autre signe important de la lésion cérébelleuse, est la perte du caractère inconscient et automatique de la plupart des mouvements.
Un des patients du Dr. G.Morgan Holmes, qui souffrait d'une lésion de l'hémisphère cérébelleux droit, se plaignait de ne pouvoir exécuter aucun mouvement automatique avec sa main droite, il devait sans cesse réfléchir et commander chaque mouvement, à l'inverse de sa main gauche.

Nous allons nous intéresser tout particulièrement à **l'Ataxie cérébelleuse :** Elle se manifeste essentiellement par incoordination motrice.
À l'inverse de l'ataxie locomotrice, dans l'ataxie cérébelleuse, l'occlusion des yeux n'exagère pas les troubles.

Troubles essentiels :
1- Atteinte de la statique et de l'équilibration

2- Trouble de la démarche : démarche ébrieuse

3- Troubles des mouvements volontaires :
a- Troubles spatiaux : Pour le diagnostic on peut utiliser les épreuves suivantes :

- Epreuve d'hypermétrie :

Elle sert à diagnostiquer un mouvement trop long. On demande au patient de toucher son nez avec son doigt ou de toucher son genou avec son talon. Un patient atteint ira trop loin et dépassera l'objectif

- Epreuve de synergie :

Le patient présente une asynergie. Par exemple, en temps normal, lorsqu'on rejette la tête en arrière, on fléchit automatiquement les genoux. Un patient atteint ne pourra effectuer ces mouvements que lentement et d'une façon décomposée (il n'y a pas de succession des mouvements).
Ou bien lorsqu'on demande au patient d'aller d'un point A vers un point B et de revenir sur ses pas, le patient ira en festonnant et ne pourra revenir qu'en décrivant une courbe.

b- Troubles temporaux : Le patient présente une adiadococinésie, c'est à dire qu'il n'arrive pas à exécuter les mouvements rapides alternatifs et opposés.
L'épreuve classique permettant le diagnostic est l'épreuve des marionnettes : on demande au patient d'effectuer une prono-supination rapide, il n'y arrive pas et effectue des mouvements saccadés asynchrones et explosifs
On observe aussi une dyschronométrie : retard dans l'initiation et l'arrêt du mouvement
4- Tremblement intentionnel (cinétique) au cours du mouvement, à l'inverse des Parkinsoniens (atteinte des noyaux gris) chez qui le tremblement a lieu au repos et disparaît pendant le mouvement

Les syndromes cérébelleux :
Syndrome néo-cérébelleux :

Peut être visible après des accidents traumatiques, seuls les mouvements intentionnels (fins) sont touchés

Syndrome paléo-cérébelleux :

Occasionné par une atrophie cérébelleuse tardive, il peut être visible chez un alcoolique. Il occasionne des troubles de la démarche et de la statique

Syndrome archéo-cérébelleux :

Peut avoir diverses causes, par exemple un enfant qui présente un médulloblastome (tumeur flocculo-nodulaire). Il occasionne un nystagmus pathologique (les yeux qui dansent !)

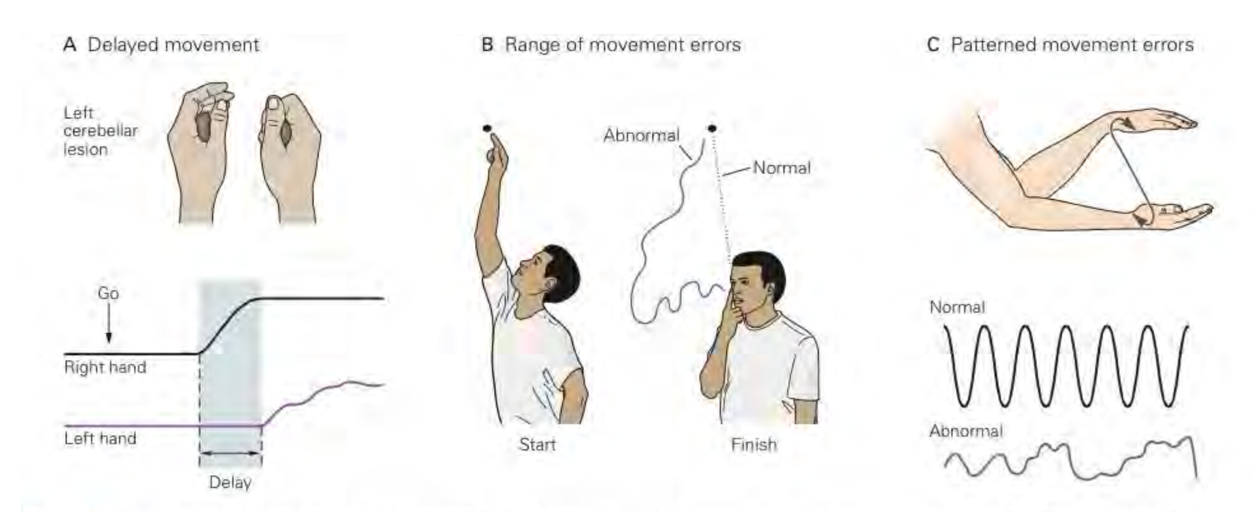


Figure 42–1 Typical defects observed in cerebellar diseases.

A. A lesion in the left cerebellar hemisphere delays the initiation of movement. The patient is told to clench both hands at the same time on a "go" signal. The left hand is clenched later than the right, as is evident in the recordings from a pressure bulb transducer squeezed by the patient.

B. A patient moving his arm from a raised position to touch the tip of his nose exhibits inaccuracy in range and direction (dysmetria) and moves his shoulder and elbow separately (decomposition of movement). Tremor increases as the finger approaches the nose.

C. A subject was asked to alternately pronate and supinate the forearm while flexing and extending at the elbow as rapidly as possible. Position traces of the hand and forearm show the normal pattern of alternating movements and the irregular pattern (dysdiadochokinesia) typical of cerebellar disorder.

(Image Kandle et Schwartz)

Données électrophysiologiques :

Sur le plan histologique :

Le cervelet est appellé « la machine à tisser » car il existe une circuiterie qui se répète.

Le cortex cérébelleux comprend trois couches :

- Couche superficielle moléculaire (prolongements des neurones des couches sous-jacentes)
- Couche des cellules de Purkinje.
- Couche interne granulaire : corps cellulaires des cellules granulaires (ou grains)

Sur le plan physiologique :

- Il existe deux voies d'entrée, toutes deux excitatrices : la voie des fibres moussues et la

voie des fibres grimpantes

- Le traitement de l'information se fait par des interneurones excitateurs (cellules granulaires) et inhibiteurs (cellules à panier, cellules étoilées, cellules de Golgi)
- Il n'existe qu'une seule voie de sortie : les cellules de Purkinje (qui inhibent les noyaux profonds)

Voie des fibres mousses :

- Les fibres mousses reçoivent toutes les afférences, mises à part celles de l'olive bulbaire inférieure.
- Elle donnent une collatérale (+) vers les noyaux cérébelleux profonds
- Elles se terminent en rosace dans la couche profonde, dans le glomérule cérébelleux. Elles excitent les cellules granuleuses
- Les cellules granuleuses émettent des prolongements transversaux appelés fibres parallèles
- Ces fibres vont exciter les cellules de Purkinje + les cellules étoilées et les cellules en panier
- Les cellules étoilées et en panier inhibent les cellules de Purkinje
- Les cellules de Purkinje sont GABAergiques, elles inhibent les noyaux cérébelleux profonds

Les fibres mousses n'ont aucun contact direct avec les cellules de Purkinje, elles ont donc une action (+) diffuse et indirecte.

La conduction des informations transmises par les fibres mousses est très convergente : chaque cellule de Purkinje reçoit des informations de 200k à 1 millions de cellules granuleuses

La stimulation de la couche moléculaire et l'enregistrement dans la couche de Purkinje donne le résultat suivant : (dans l'ordre)

- Potentiel d'action unique : du à l'excitation monosynaptique par les fibres parallèles
- PPSI tardif (dure 200ms) : du à l'inhibition polysynaptique par les cellules étoilées et en panier

Glomérule cérébelleux :

C'est une structure en forme de rosace constituée par la terminaison de la fibre mousse avec les dendrites des cellules granulaires et l'axone et les dendrites de la cellule de Golgi

Il joue un rôle de rétro-contrôle négatif sur le relais du système des fibres mousses

F.mousse **=>** (+) C.granulaire **=>** (+) F.parallèles **=>** (+) dendrites C.Golgi **=>** Axone C.Golgi **=>** (-) C.granulaire

Il existe aussi un phénomène d'anticipation : (non représenté sur le schéma)

La fibre mousse excite directement la cellule de Golgi, et la cellule granulaire n'intervient pas

F.mousse **=>** (+) dendrite C.Golgi **=>** axone C.Golgi **=>** (-) C.granulaire

Voie des fibres grimpantes :

- Les fibres grimpantes reçoivent les afférences de l'olive bulbaire inférieure
- Ils émettent une collatérale (+) vers les noyaux cérébelleux profonds
- Ils émettent aussi des collatérales (+) vers les cellules étoilées et à panier
- Ils se terminent en excitant les cellules de Purkinje
- Comme précédemment, les cellules de Purkinje vont inhiber les noyaux cérébelleux profonds
- Et les cellules étoilées et à panier inhibent les cellules de Purkinje

La fibre grimpante exerce un pouvoir excitateur plus grand que la fibre mousse. Cette excitation est direct, puissante et locale, il existe environ 1 fibre grimpante pour 10 cellules de Purkinje.

L'enregistrement dans la cellule de Purkinje après stimulation des fibres grimpantes montre :

- 4 potentiels d'actions successifs, d'amplitude décroissante dus à une entrée de Ca^{2+} (et non de Na^{+})
- Un PPSI : du aux cellules étoilées et en panier

Il apparaît que les cellules grimpantes provoquent des décharges violentes sur les cellules de Purkinje pour leur imposer une période réfractaire et réguler ainsi les influx des cellules mousses.

Hypothèse : La fibre mousse fait le mouvement alors que la fibre grimpante l'arrête

Action des noyaux cérébelleux sur les noyaux relais :

Au niveau du relais (noyau rouge, noyaux vestibulaires ...etc.), s'il y a équilibre entre les excitations et les inhibitions au profit d'une excitation, on dit qu'il y a facilitation

Si au contraire c'est l'inhibition qui l'emporte, on dit qu'il y a disfacilitation. Dans ce cas il n'y aura plus de décharges spontanées

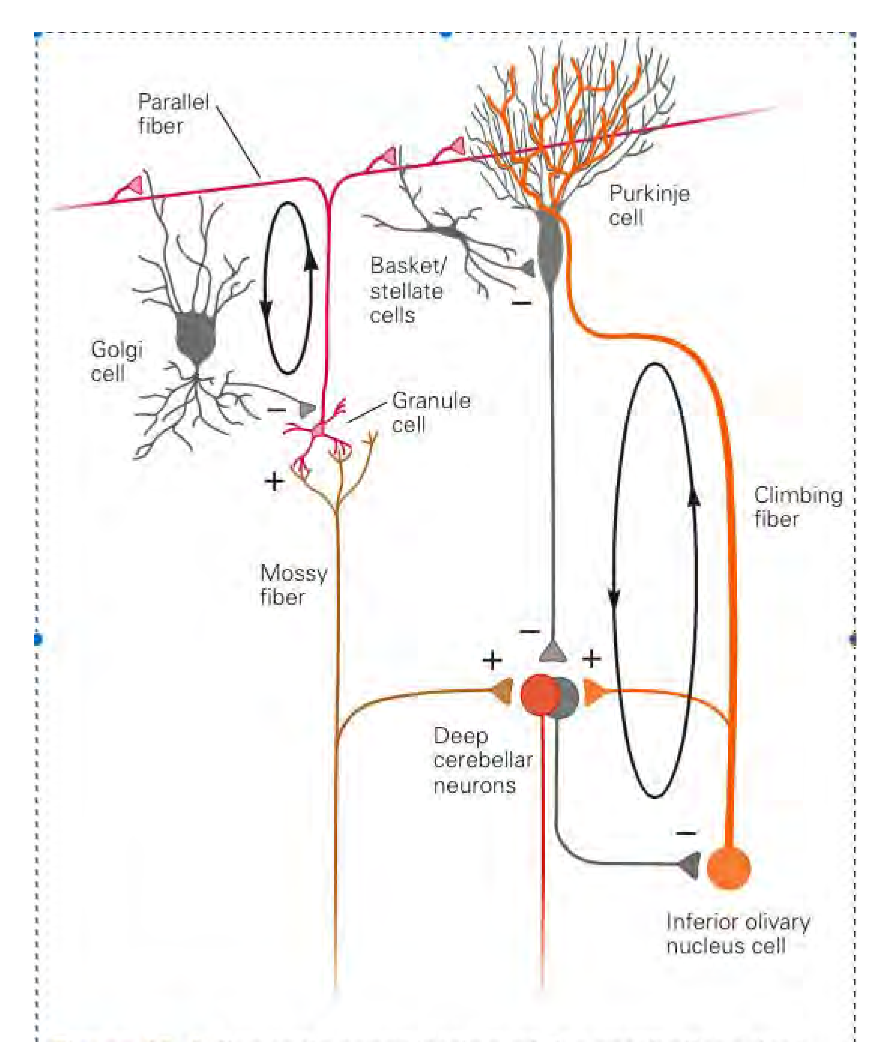


Figure 42–6 Synaptic organization of the cerebellar micro-circuit. Excitation and inhibition converge both in the cerebellar cortex and in the deep nuclei. Recurrent loops involve Golgi cells within the cerebellar cortex and the inferior olive outside the cerebellum. (Adapted, with permission, from Raymond, Lisberger, and Mauk 1996.)

(Image de Kandle et Schwartz)